



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SAULO JOSÉ DE SOUZA FILGUEIRA

**ANÁLISE COMPUTACIONAL PARA AUTODEPURAÇÃO DE RIOS E CURSOS
D'ÁGUA UTILIZANDO O MODELO DE STREETER-PHELPS**

PAU DOS FERROS

2021

SAULO JOSÉ DE SOUZA FILGUEIRA

**ANÁLISE COMPUTACIONAL PARA AUTODEPURAÇÃO DE RIOS E CURSOS
D'ÁGUA UTILIZANDO O MODELO DE STREETER-PHELPS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Cecilio Martins de Sousa Neto, Prof. Dr.

Co-orientador: Joel Medeiros Bezerra, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS

2021

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F478a FILGUEIRA, SAULO JOSÉ DE SOUZA.
ANÁLISE COMPUTACIONAL PARA AUTODEPURAÇÃO DE
RIOS E CURSOS D'ÁGUA UTILIZANDO O MODELO DE
STREETER-PHELPS / SAULO JOSÉ DE SOUZA FILGUEIRA. -
2021.
38 f. : il.

Orientadora: CECÍLIO MARTINS DE SOUSA NETO.
Coorientador: JOEL MEDEIROS BEZERRA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Autodepuração. 2. Modelo de Streeter-Phelps.
3. Algoritmo. 4. Linguagem de Programação. I.
SOUSA NETO, CECÍLIO MARTINS DE, orient. II.
BEZERRA, JOEL MEDEIROS, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SAULO JOSÉ DE SOUZA FILGUEIRA

**ANÁLISE COMPUTACIONAL PARA AUTODEPURAÇÃO DE RIOS E CURSOS
D'ÁGUA UTILIZANDO O MODELO DE STREETER-PHELPS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 29/ 11/ 2021.

BANCA EXAMINADORA

Cecilio Martins de Sousa Neto, Prof. Dr., Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Alex Pinheiro Feitosa, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a princípio a quem rege pelo dom da vida, sem essa força nada seria possível, e os ciclos não se completariam;

A meus pais, Adriana Lúcia Filgueira Souza e José Eudes de Souza, por incentivarem, mesmo com extremos, sobre a importância de batalhar pelo nosso desejo;

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por sempre acreditar no potencial do ensino, pesquisa e projetos de extensão. Levando para milhares de estudantes a oportunidade de fazer ciência no interior;

Aos docentes a qual me proporcionaram a vasta gama de conhecimento, não só academicamente, mas também sobre a importância de agir de forma humanitária, sem preconceitos ou discriminação, dentro da universidade. Em especial ao meu orientador, a quem também posso chamar de amigo, Prof. Dr. Cecílio Martins, por me incentivar a seguir no caminho da programação. Ao meu Coorientador Prof. Dr. Joel Medeiros, por despertar a curiosidade e o interesse ao curso de Engenharia Ambiental Sanitária. E aos demais professores/amigos por me aconselharem em momentos de dúvida, e me enriqueceram com diálogos construtivos, em especial o Prof. Dr. Francisco Carlos (Segundo), a Prof. Dra. Sanderlir Dias e a Prof. Dra. Claudia Muniz;

Por fim, aos meus amigos e familiares, pelo apoio e puxões de orelha quando necessário.

Não devemos nos questionar porque algumas coisas nos acontecem e sim o que podemos fazer com o tempo que nos é dado.

J. R. R. TOLKIEN

RESUMO

O uso da água está relacionada diretamente ao surgimento das civilizações, foi a partir dela que o homem iniciou o processo de sedentarização, devido ao domínio da agricultura. Embora, tenha uma importância gigantesca no uso doméstico, agropecuária, industrial e geração de energia, seu constante uso e a falta de tratamento de rejeitos estão tornando esse recurso mais limitado e impróprio para a natureza, exemplo disto, é o processo de autodepuração que ocorre nos corpos hídricos. Essa ação natural, é desenvolvida pela tentativa do meio ambiente consumir, por meio de microorganismos, a matéria orgânica excedente na água, no qual ocorre devido o aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio e a queda do Oxigênio Dissolvido. Esse processos é analisado e estudado a partir modelagem de Streeter-Phelps a qual baseia-se na curva de oxigênio dissolvido, resultado da produção de oxigênio pela reação atmosférica e consumo de oxigênio pela oxidação da matéria orgânica. Pensando em análises mais rápida e com maior dinamicidade este trabalho buscou aplicar as equações matemáticas, deste modelo, por meio de algoritmos de programação no MatLab. Em síntese, é possível a implementação computacional, relevando os pontos das equações do modelo proposto, bem como a possibilidade de desenvolvimento gráfico a qual permite entender as curvas de nível da concentração de oxigênio dissolvido pela distância de percurso de análise.

Palavras-chave: Autodepuração. Modelo de Streeter-Phelps. Algoritmo. Linguagem de Programação.

ABSTRACT

The use of water is directly related to the emergence of civilizations, it was from it that man began the process of sedentarization, due to the domain of agriculture. Although it has a gigantic importance in domestic, agricultural, industrial and energy generation use, its constant use and the lack of waste treatment are making this resource more limited and unsuitable for nature, an example of which is the self-purification process that occurs in water bodies. This natural action occurs through the attempt of the environment to consume, through microorganisms, the excess organic matter in the water, which occurs due to the increase in Biochemical Oxygen Demand and the drop in Dissolved Oxygen. These processes can be analyzed and studied by Streeter-Phelps modeling which is based on the dissolved oxygen curve, resulting from the production of oxygen by atmospheric reaction and consumption of oxygen by the oxidation of organic matter. Thinking about faster and more dynamic analysis, this work sought to apply the mathematical equations of this model through programming algorithms in MatLab. In summary, the computational implementation is possible, highlighting the points of the equations of the proposed model, as well as the possibility of graphic development which allows understanding the level curves of the dissolved oxygen concentration by the distance of the analysis path.

KEYWORDS: Self-debugging. Streeter-Phelps model. Algorithm. Programming language.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
OD	Oxigênio Dissolvido
DBO ou L	Demanda Bioquímica de Oxigênio
IQA	Indicie de Qualidade das Águas
K_1	Coeficiente de desoxigenação
K_2	Coeficiente de reação
C_s	Concentração de saturação de oxigênio
ODmin	Oxigênio Mínimo Permissível
C_o	Concentração de oxigênio da mistura
D_o	Deficit de oxigênio
K_t	Constante de transformação da DBO
DBO_{S_o}	Concentração de DBO, após a mistura
L_o	Demanda ultima de oxigênio após a mistura
t_c	Tempo crítico
d_c	Distância crítica de oxigênio dissolvido
D_c	Deficit crítico
C_c	Concentração crítica de oxigênio dissolvido
C_t	Perfil do oxigênio dissolvido ao longo do tempo e da distância

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1. Geral.....	14
2.2. Específicos.....	14
3 REVISÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Poluição ambiental dos corpos hídrico.....	15
3.2 Autodepuração.....	15
3.3 Modelo de Streeter-Phelps.....	17
4. METODOLOGIA.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES:.....	23
5.1 Coeficiente de desoxigenação (K_1):.....	24
5.2 Coeficiente de reação (K_2):.....	24
5.3 Concentração de saturação de oxigênio (C_s):.....	25
5.4 Oxigênio Mínimo Permissível (OD_{min}):.....	26
5.5 Concentração de oxigênio da mistura (C_o):.....	26
5.6 Deficit de oxigênio (D_o):.....	27
5.7 Constante de transformação da DBO5 em DBO ultima (K_T):.....	27
5.9 Demanda ultima de oxigênio após a mistura (L_o):.....	27
5.10 Tempo crítico (t_c):.....	27
5.11 Distância crítica de oxigênio dissolvido (d_c):.....	28
5.12 Deficit crítico (D_c):.....	28
5.13 Concentração crítica de oxigênio dissolvido (C_c):.....	28
5.14 Perfil do oxigênio dissolvido ao longo do tempo e da distância (C_t):.....	28
5.15 Comportamento Gráfico:.....	29
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:.....	30

REFERÊNCIAS.....31

ANEXO 1.....32

1 INTRODUÇÃO

O surgimento das civilizações estão relacionadas diretamente ao abastecimento de água, foram a partir de corpos hídricos que as primeiras sociedades se iniciaram. Haja vista, que desde a revolução agrícola o *homo sapiens* necessitava dessa substância para a realização de atividades agropastoris, além do consumo fisiológico. Exemplo disto, foram os processos de sedentarização diante as margens dos rios Tigre, Eufrates, Nilo e Jordão, conhecidos também por Crescente Fértil, a qual são intitulados como berço da civilização (PEIXOTO, 2016).

Sabendo disto, é importante compreender que este oxido é uma substância inorgânica muito abundante na superfície terrestre, possuindo uma quantidade de $1,36 \times 10^{18} \text{m}^3$, no qual 97% desse valor se encontra nos oceanos, 2,2% em geleiras e apenas 0,8% água doce. Outrossim, é relevante ressaltar que dentro dessa menor porcentagem 97% são águas subterrâneas e 3% águas superficiais (VON SPERLING, 2014).

Além de possuir uma grande distribuição, tanto espacial como temporal, a água também exerce grande importância no planeta, pois, nenhum processo metabólico pode ocorrer em sua ausência, seja sua participação direta ou indiretamente. Isso ocorre devido suas características físicas e químicas, sendo elas: polaridade, o que permite a formação de pontes de hidrogênio, gerando uma alta força intermolecular; elevado calor específico, definindo a qualidade de absorver grande quantidade de calor sem alteração da temperatura, iniciando apenas mudanças térmicas gradativas; além da tensão superficial que é resultado da formação de uma película que suporta pequenos esforços sem sofrer rompimento; e a densidade que atinge seu ápice á 4°C impedindo assim o congelamento total repentino (ESTEVES, 1998).

Devido a isso, o óxido de di-hidrogênio tem muita importância para o homem e suas atividades, sejam para fins biológicos, como também para a indústrias e geração de energia. Desta forma, a exploração dos recursos hídricos exerce grandes funcionalidades diante a contemporaneidade. No Brasil, de acordo com a Agência Nacional da Água (ANA) (2020), o consumo total de água é destinado a diferentes setores, entre eles: irrigação, correspondente a 66,1%; atividades pecuárias, com o uso de 11,6%; abastecimento urbano, 9%; aplicação industrial, equivalente a 9,7%; zona rural, correlato a 2,4%; indústria de mineração, com o valor de 0,9%; e geração de energia por termoeletricas responsável por 0,3%. Sabendo disso, é perceptível o aumento no consumo de água, pois, as demandas atualmente são acarretadas a expansão do agronegócio e ao crescimento industrial.

Perante o exposto, os processos de exploração da hidrografia brasileira são acometidos por diversos problemas, que interferem diretamente na qualidade da água, modificando assim suas propriedades, seja em termos qualitativos, mas também quantitativos, comprometendo assim sua utilização, diante os usos múltiplos de tal recurso natural. Em geral, a qualidade da água é analisada por meio dos parâmetros de temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), colimetria, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Baseando-se nessas características foi desenvolvido nos Estados Unidos da América, na década de 1970, uma metodologia que permite em um único valor entender se o corpo hídrico está em péssimas ou ótimas condições, o Índice de Qualidade da Água (IQA). Em complemento, o relatório da ANA 2020 determinou que os IQA das bacias hídricas analisadas representam péssimas condições nas grandes cidades brasileiras, reforçando os resultados da falta de saneamento básico e do controle da poluição hídrica (ANA, 2020).

Por consequência, esses dados podem significar em severos danos aos corpos hídricos, como o processo de eutrofização, mas a natureza tende a restabelecer ao equilíbrio. Diante disso, para Sperling (2014) o processo de autodepuração ocorre pela tentativa do ambiente restaurar o equilíbrio biológico do meio de vida aquático, após o despejo de efluentes, provenientes de cargas poluidoras predominantes de composição orgânica. Em outras palavras, essa restauração ocorre pela conversão de compostos orgânicos em compostos inertes, de tal forma que não gere prejuízos ecológicos. Baseando-se nisso, um corpo hídrico pode ser considerado depurado mesmo sem estar totalmente limpo, contento inclusive agentes patógenos, pois, o processo de autodepuração não é absoluto e visa conter quaisquer conflitos existentes em cada trecho do curso d'água.

Mediante as dificuldades enfrentadas pela seguridade, gestão, controle e proteção dos recursos hídricos foi criada em janeiro de 1997 a lei nº 9.433, conhecida por lei das águas. Essa legislação surgiu pela necessidade de proteção das águas mediante uma estrutura global ambiental, visando a elaboração de um desenvolvimento sustentável e um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Além disso, o regimento descreve as águas como bem público, recurso natural limitado e que seu consumo deve ser priorizado a humanos e animais. Outrossim, a ordem delimita como função da União e Estados implementar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recurso Hídricos (Singreh), conjunto de órgão responsável pela fiscalização e gerenciamento financeiro e jurídico das bacias hidrográficas brasileiras, atendendo a necessidade de cada região (BRASIL, 1997).

Dentro desse contexto, os modelos matemáticos possuem a direta capacidade de auxiliar na simulação e previsão dentro de uma perspectiva de autodepuração hídrica. O modelo mais utilizado, no qual sofre constantes alterações para a adaptação em diferentes cenários, é o proposto por Streeter e Phelps. Essa modelagem baseia-se na curva de oxigênio dissolvido, resultado da produção de oxigênio pela reação atmosférica e consumo de oxigênio pela oxidação da matéria orgânica (VON SPERLING, 2014). Além disso, o avanço tecnológico pode atuar de maneira eficiente para agilizar e facilitar os processos de análise de problemas, visando o controle prévio dos impactos ambientais. Principalmente em decorrência da alta demanda, pois, as ações dos impactos antrópicos estão cada vez mais recorrentes e necessitando de dados mais empíricos que não demandem tanto tempo.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma análise computacional de autodepuração da água por meio do modelo matemático de Streeter-Phelps.

2.2. Específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar um levantamento bibliográfico diante os conceitos de poluição ambiental, autodepuração e modelagem matemática de autodepuração..
- Analisar o modelo matemático clássico de Streeter-Phelps.
- Desenvolver um algoritmo computacional para análise dos índices de autodepuração da água.

3 REVISÃO TEÓRICA

A concretização dos objetivos propostos advém da necessidade de entendermos os processos de poluição hídrica, como a natureza se recupera diante da degradação ocorrida e como esse processo pode ser descrito do ponto de vista matemático.

3.1 Poluição ambiental dos corpos hídrico

A poluição ambiental é um tema de constante preocupação em decorrências dos inúmeros impactos gerados sobre o homem e outros seres vivos. Para Odum (2001) a poluição consiste na alteração indesejável das características físico-químicas e biológicas da atmosfera, litosfera e hidrosfera, podendo afetar de forma prejudicial a biosfera, o patrimônio cultural e a condições propícias a vida. Além disso, os poluentes possuem a capacidade de deteriorar ou malbaratar os recursos naturais e matérias primas.

Nesse contexto, é importante ressaltar que todos os meios de degradação ambiental impactam de forma negativa os indivíduos de um ecossistema. Entretanto, a poluição hídrica, diante a responsabilidade de interagir de alguma forma em todas as funções metabólicas dos organismos vivos, geram danos ao equilíbrio ecológico (ESTEVES, 1998).

Sob esse viés, Derisio (2012) descreve que a poluição de ecossistemas aquáticos ocorrem de forma natural ou antrópica. A exemplo disso, são consideradas como meios de poluição naturais chuvas e escoamento superficial, salinização, e a decomposição de vegetais e animais mortos. Porém, os tipos de poluição geradas pelo homem podem ser classificadas por: industrial, resultado do rejeito de resíduos líquidos gerados por processos industriais de maneira geral; poluição urbana, oriunda de demandas de habitantes de uma cidade, no qual o principal impacto advém da falta de saneamento básico; Ademais, a poluição agropastoril, que geram impactos a partir da agricultura e pecuária, por meio de defensivos agrícolas, fertilizantes, excrementos de animais e processos de erosão.

3.2 Autodepuração

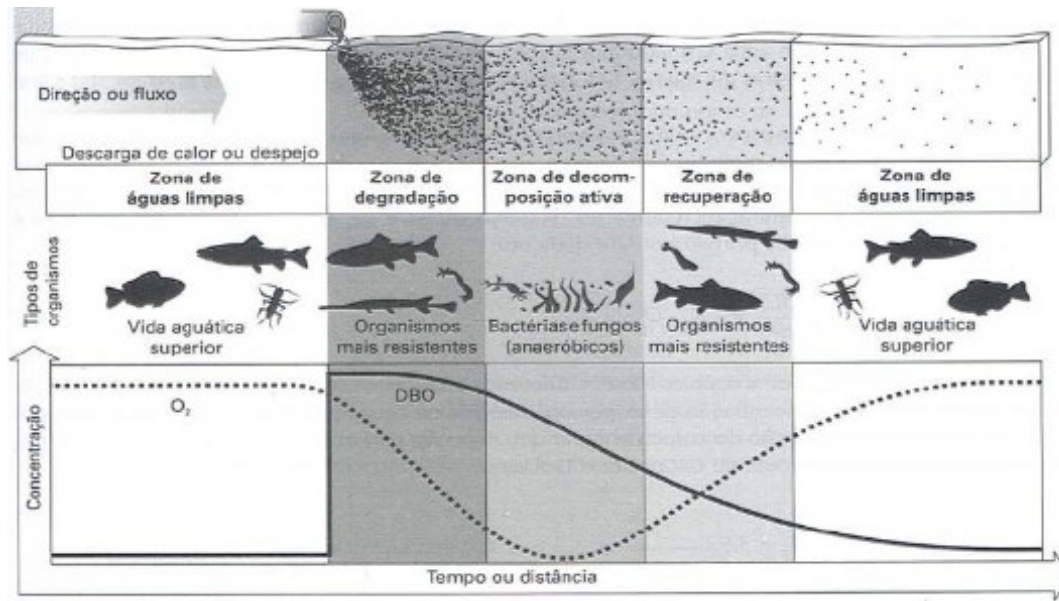
Os ecossistemas aquáticos possuem cadeias alimentares bem definidas, iniciando-se a partir dos seres fotossintetizantes (produtores), capazes de obter sua energia de sobrevivência através da fotossíntese. Além disso, existem outros seres, denominados consumidores, que

obtem energia de forma direta ou indireta dos produtores. Este equilíbrio natural, da reação de respiração e reação de fotossíntese, é sucedida a partir do retorno biológico de importantes elementos, por meio dos decompositores, como potássio, fósforo, nitrogênio, ferro, carbono, oxigênio e hidrogênio – ou seja, os decompositores estabilizam a carga orgânica tornando-a mineralizada para assim retornar aos indivíduos autotróficos e heterotróficos (BRAGA *et. al.*, 2005).

Entretanto, quando ocorre o alto descarregamento de matéria orgânica biodegradável o ecossistema entra em desequilíbrio, pois, o acarreta em um acréscimo populacional seres decompositores aeróbicos passando a consumir maior quantidade de oxigênio competindo com demais organismos vivos, gerando a morte de algumas espécies. Diante da situação, o corpo hídrico tenta se recuperar do dano causado, esse processo é denominado de *autodepuração*, no qual o ecossistema tenta voltar ao equilíbrio. Para Braga (2005) esse processo ocorre em duas etapas, a decomposição e a reaeração.

O processo de decomposição é marcado pelo tipo e quantidade de matéria orgânica despejada, acarretando assim no valor da Demanda Bioquímica de Oxigênio (*DBO*) — a quantidade de oxigênio necessária para que os agentes possam realizar a ação de estabilização. Posteriormente, após a mineralização ser cessada, com o decaimento da *DBO* e aumento da concentração de oxigênio, inicia-se o processo reaeração, por meio da ação atmosférica e fotossíntese. Além disso, é importante ressaltar que se houver uma carga orgânica muito elevada pode ocasionar o esgotamento total de oxigênio, e o meio de decomposição fica exclusivo para microrganismos anaeróbico, porém não é uma decomposição completa ela é apenas finalizada quando os microrganismos aeróbicos retornam. Todo o processo de autodepuração de um rio pode ser ilustrado pela Figura 1:

Figura 1: Processo de autodepuração com relação a distância.



Referência : Braga et. al. (2005)

3.3 Modelo de Streeter-Phelps

Em 1925 foi desenvolvido pelos pesquisadores Streeter e Phelps um modelo matemático que avalia a capacidade de autodepuração de um rio, entendendo a posição da curva de oxigênio dissolvido em um curso d'água, baseando-se na produção de oxigênio pela reação atmosférica e consumo de oxigênio pela oxidação da matéria orgânica, este experimento ficou conhecido como modelo de *Streeter-Phelps*. Esta proposta é de demasiada importância para a engenharia ambiental e sanitária, pois serve como embasamento para o desenvolvimento de protótipos mais sofisticados que venham a suceder (VON SPERLING 2014).

Nesse contexto, Von Sperling (2014) propôs a dedução do modelo monitora duas grandezas, DBO (L) e Concentração de Oxigênio Dissolvido (CO_2), e as aplica a equação da continuidade molar, assim temos:

$$\frac{\delta(CO_2u)}{\delta x} + \frac{\delta(CO_2v)}{\delta y} + \frac{\delta(CO_2w)}{\delta z} - r_{O_2} = \frac{dCO_2}{dt}$$

$$\frac{\delta(Lu)}{\delta x} + \frac{\delta(Lv)}{\delta y} + \frac{\delta(Lw)}{\delta z} - r_L = \frac{dL}{dt}$$

Entretanto, o modelo também propõe uma unidimensionalidade, ou seja, não é capaz de variar de acordo com a profundidade e largura, possuindo o seguinte resultado:

$$\frac{\delta(CO_2 u)}{\delta x} - rO_2 = \frac{dCO_2}{dt}$$

$$\frac{\delta(Lu)}{\delta x} - rL = \frac{dL}{dt}$$

Além disso, para Streeter e Phelps as propriedades não são capazes de variar com o tempo, pois, possuem um regime permanente, modificando as equações para:

$$\frac{\delta(CO_2 u)}{\delta x} - rO_2 = 0$$

$$\frac{\delta(Lu)}{\delta x} - rL = 0$$

Outrossim, as velocidades se matem constantes, saindo das derivas e criando a primeiras propostas das equações do modelo, equações I e II.

$$u \frac{\delta(CO_2)}{\delta x} - rO_2 = 0 \text{ Equação (I)}$$

$$u \frac{\delta(L)}{\delta x} - rL = 0 \text{ Equação (II)}$$

O modelo pressupõe que a taxa de geração da DBO ou consumo de DBO segue uma cinética de primeira ordem (se houver aumento da taxa de produção o consumo também aumentará em mesma proporção.), logo quanto maior a DBO maior será a velocidade de degradação. Gerando assim a equação III, em que K_1 é a constante de desoxigenação que está negativa devido a DBO está sendo consumida.

$$rL = -K_1 L \text{ Equação (III)}$$

Não obstante, a velocidade de geração do oxigênio é dependente da diferença de dois fatores, a difusão da atmosfera para a água ($K_2(C_s - CO_2)$) e o consumo de oxigênio pelos

microrganismos ($K_1 L$), elaborando assim a equação IV. No qual, K_2 é a constante de reação e C_s Concentração de saturação de oxigênio na água.

$$rO_2 = K_2(C_s - CO_2) - K_1 L \text{ Equação (IV)}$$

Ao substituindo a equação III na II e a equação IV na I temos as derivadas que servem de base para as equações do modelo de Streeter-Phelps.

$$u \frac{\delta(L)}{\delta x} + K_1 L = 0 \text{ Equação (V)}$$

$$u \frac{\delta(CO_2)}{\delta x} - K_2(C_s - CO_2) + K_1 L = 0 \text{ Equação (VI)}$$

Aplicando a solução Analítica da equação V temos a seguinte equação, onde L_0 representa a DBO no ponto de lançamento do efluente.

$$u \frac{\delta(L)}{\delta x} + K_1 L = 0 \rightarrow \frac{\delta(L)}{\delta x} = \frac{-K_1 L}{u} \rightarrow L = L_0 e^{\left(\frac{-K_1}{u} x\right)} \text{ Equação (VII)}$$

Para solucionarmos a equação VI é necessário simplificar a equação, portanto foi criado uma nova variável que representa o deficit de oxigênio (D), descrita por:

$$D = (C_s - CO_2) \text{ Equação (VIII)}$$

Desenvolvendo a derivação desta nova equação obteve-se:

$$\frac{\delta D}{\delta x} = \frac{\delta(C_s - CO_2)}{\delta x} = \frac{\delta C_s}{\delta x} - \frac{\delta CO_2}{\delta x}$$

Como a derivada da concentração de saturação tende a zero, temos então:

$$\frac{\delta CO_2}{\delta x} = \frac{-\delta D}{\delta x} \text{ Equação (IX)}$$

Substituindo a equação IX em VI, obteve-se:

$$-u \frac{\delta D}{\delta x} - K_2 D + K_1 L = 0 \text{ Equação (X)}$$

Inserindo a equação VII na X, resultou em:

$$-u \frac{\delta D}{\delta x} - K_2 D + K_1 L_0 e^{\left(\frac{-K_1}{u} x\right)} = 0 \text{ Equação (XI)}$$

Obtendo a solução analítica da equação XI, em que D_0 é o deficit de oxigênio no ponto de lançamento do efluente.

$$D = D_0 e^{\left(\frac{-K_2}{u} x\right)} + \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} \left[e^{\left(\frac{-K_1}{u} x\right)} - e^{\left(\frac{-K_2}{u} x\right)} \right] \text{ Equação (XII)}$$

Portanto, agora as três equações que correspondem ao modelo de autodepuração de um rio proposto por Streeter e Phelps, são elas:

$$L = L_0 e^{\left(\frac{-K_1}{u} x\right)}$$

Utilizada para a análise da demanda bioquímica de oxigênio, a qual consiste na relação entre DBO, antes e depois da mistura; coeficiente de desoxigenação, velocidade e comprimento.

$$D = D_0 e^{\left(\frac{-K_2}{u} x\right)} + \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} \left[e^{\left(\frac{-K_1}{u} x\right)} - e^{\left(\frac{-K_2}{u} x\right)} \right]$$

Utilizado na análise do deficit de oxigênio, ou seja sobre a perda da concentração de oxigênio diante do aumento da DBO. Além disso, o calculo também baseia-se a partir do coeficiente de reação, que consiste no oxigênio produzido pela atmosfera.

$$CO_2 = C_s - D$$

Pro fim, a equação para a análise da concentração de oxigênio, que é resultado da diferença entre concentração de saturação e deficit de oxigênio.

Em síntese, a partir desses conhecimentos, sobre a poluição hídrica, os processos de degradação (com influencia natural e antrópica), capazes de gerar processos de eutrofização,

que tem como solução a autodepuração, que são descritos pelo modelo matemático de Streeter-Phelps, a tese deste trabalho será defendida.

4. METODOLOGIA

De acordo com Gil (2002) o estudo trata-se de uma pesquisa aplicada, de caráter exploratório e descritivo, com abordagem quantitativa. A qual busca realizar um algoritmo capaz de aplicar as equações de Streeter-Phelps, auxiliando assim no processamento e aplicações de dados sobre estudos da autodepuração de rios.

Além disso, a tese proposta, neste Trabalho de Conclusão de Curso, foi desenvolvido a partir de um levantamento bibliográfico, no qual possibilitou a escrita e compreensão do método aplicado. Entretanto, para a elaboração de um algoritmo de programação é necessário ter um exemplo padrão, para pôr em prática os estudos teóricos. A padronização utilizada foi a proposta por SANTOS *et. al.* (2010).

Após a preferência de um modelo padrão, veio a necessidade de escolha de *softwares* capazes de realizar os processamentos de dados, de forma clara, didática, e principalmente uma ferramenta de uso comum dentro do ambiente das engenharias. Com base nisso, o MATLAB® foi elegível, pois, ele é capaz de gerar códigos, possuir uma área de simulação, realiza plotações de formas simples, bem como, é capaz de produzir interfaces gráficas.

Com base nisso, todo o processo de redigir o código, a partir da criação de variáveis e implementação do usuário, foram desenvolvidos para que possibilite a quem não entenda sobre geração de códigos conseguir utilizar facilmente o programa.

Além de tudo, para ocorrer a validação do estudo foi necessário o uso de um outro *software*, o LibreOffice Calc®, para implementar dados ao modelo padrão, e realizar um comparativo com os resultados obtidos pelo algoritmo de simulação. Quando ambos programas geraram os mesmos valores, percebemos que o algoritmo de programação estava funcionando de maneira precisa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Baseando-se na metodologia, em referência a revisão bibliográfica, foi possível desenvolver um algoritmo, capaz de solucionar cálculos a partir do modelo padrão descrito por Santos *et. al.*(2010). Modelo a qual relacionava as equações de Streeter-Phelps a partir da seguinte caracterização:

- Característica do esgoto:

Vazão = $Q_e = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$;

Demanda Bioquímica de Oxigênio = $DBO_5e = 10.000 \text{ mg/L}$;

Oxigênio Dissolvido = $OD_e = 0,0 \text{ mg/L}$;

- Característica do rio:

A jusante do ponto de lançamento o curso d'água não apresenta outros lançamentos significativos;

Vazão = $Q_r = 0,168 \text{ m}^3/\text{s}$;

Rio considerado limpo;

Oxigênio Dissolvido = $OD_r = 6,8 \text{ mg/L}$;

Classe do corpo d'água: Classe 2;

Altitude = 1.000 m ;

Temperatura da água = 25°C ;

Profundidade média = $PM = 1,0 \text{ m}$;

Velocidade média = $v = 0,35 \text{ m/s}$.

Demanda Bioquímica de Oxigênio = $DBO_r = 2,0 \text{ mg/L}$

A partir desses dados proporcionados, além de outros a serem descritos por tabelas, o usuário foi capaz de observar o coeficiente de desoxigenação, coeficiente de reação, a concentração de saturação de oxigênio, oxigênio mínimo permissível, concentração de oxigênio na mistura, déficit de oxigênio, constante de transformação da DBO, concentração de DBO após a mistura, demanda ultima de oxigênio após a mistura, tempo crítico, distância crítica de oxigênio dissolvido, deficit crítico, concentração crítica de oxigênio dissolvido, perfil do oxigênio dissolvido ao longo do tempo e da distância, e comportamento gráfico.

Além disso, é possível compreender os códigos do algoritmos pelo Anexo 1.

5.1 Coeficiente de desoxigenação (K_1):

O coeficiente de desoxigenação é de fundamental importância para entendermos a ação dos micro-organismos no corpo hídrico. ele recebe influencia direta da concentração de matéria orgânica, temperatura e nível de tratamento da água. Seu valor foi estabelecido de forma tabular:

Tabela 1: Valores genéricos do coeficiente K_1 (base e, 20 C) para vários tipos de efluentes

ORIGEM	K_1 (d⁻¹)
Água residuária concentrada	0,35 - 0,45
Água residuária de baixa concentração	0,30 - 0,40
Efluente primário	0,30 - 0,40
Efluente secundário	0,12 - 0,24
Efluente terciário	0,10 - 0,20
Rios com águas limpas	0,09 - 0,21
Água para abastecimento público	<0,12

Fonte: VON SPERLING (2014)

Baseando-se nisso, o valor obtido para os valores práticos consideramos como água residual concentrada:

$$K_{1,20}=0,45$$

Entretanto, no exemplo proposto a água está a uma temperatura de 25° C, o que para Sperling (1996), a cada grau de acréscimo de temperatura o valor de K_1 aumentará em 4,7%, assim temos:

$$K_{1T}= K_{1,20} \cdot \theta^{(T-20)} = 0,45 \cdot 1,047^{(25-20)} = 0,566 \text{ d}^{-1}$$

5.2 Coeficiente de reação (K_2):

O coeficiente de reação é pode ser obtido através de duas formas, por meio valores médios tabelados, ou através da função das características hidráulicas do corpo hídrico. Por existir uma maior precisão nos dados, foi seletado o segundo método. Que se descreve a partir da profundidade média e velocidade média, no qual seus valores implicam em respectivos autores, vejamos na Tabela 2:

Tabela 2: Valores do coeficiente K_2 segundo modelos baseados em dados hidráulicos (20°C)

PESQUISADOR	FORMULA	FAIXA DE APLICAÇÃO
O'Connor e Dobbins (1958)	$3,73 \cdot v^{0,5} H^{-1,5}$	$0,6 \text{ m} \leq PM < 4,0 \text{ m}$ $0,05 \text{ m/s} \leq v < 0,8 \text{ m/s}$
Churchill et al (1962)	$0,5 \cdot v^{0,97} H^{-1,67}$	$0,6 \text{ m} \leq PM < 4,0 \text{ m}$ $0,8 \text{ m/s} \leq v < 1,5 \text{ m/s}$
Owens et al (Apud Branco, 1976)	$0,53 \cdot v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,1 \text{ m} \leq PM < 0,6 \text{ m}$ $0,05 \text{ m/s} \leq v < 1,5 \text{ m/s}$

Fonte COVAR, apud SANTOS et. al., 2010

A partir disso, calculamos então um valor de K_2 correlato a,

$$K_2 = 3,73 \cdot V^{0,5} H^{-1,5} = 3,73 \cdot 0,35^{0,5} 1,0^{-1,5} = 2,21 \text{ d}^{-1}$$

Entretanto, os valores atribuídos a K_2 é a uma temperatura de 20°C, o que surge a necessidade de transformação para a K_2 a 25°C, tendo em vista que a cada acréscimo de temperatura ocorre um aumento de 2,4% do valor original. assim temos,

$$K_{2T} = K_{2_{20}} \cdot \theta^{(T-20)} = 2,21 \cdot 1,024^{(25-20)} = 2,49 \text{ d}^{-1}$$

5.3 Concentração de saturação de oxigênio (C_s):

Os valores da concentração de saturação de oxigênio também são obtidos de forma tabular. Entretanto, para a formulação no MatLab o processo foi dado a partir de estrutura de laços de repetições, já que o valor é o ponto de interseção de temperatura e altitude (Tabela 3).

Tabela 3: Concentração de saturação de oxigênio (mg/L) em função da temperatura e altitude

Temperatura	Altitude			
	0	500	1000	1500
10	11,3	10,7	10,1	9,5
11	11,1	10,5	9,9	9,3
12	10,8	10,2	9,7	9,1
13	10,6	10	9,5	8,9
14	10,4	9,8	9,3	8,7
15	10,2	9,7	9,1	8,6
16	10	9,5	8,9	8,4
17	9,7	9,2	8,7	8,2
18	9,5	9	8,5	8
19	9,4	8,9	8,4	7,9

20	9,2	8,7	8,2	7,7
21	9	8,5	8	7,6
22	8,8	8,3	7,9	7,4
23	8,7	8,2	7,8	7,3
24	8,5	8,1	7,6	7,2
25	8,4	8	7,5	7,1
26	8,2	7,8	7,3	6,9
27	8,1	7,7	7,2	6,8
28	7,9	7,5	7,1	6,6
29	7,8	7,4	7	6,6
30	7,6	7,2	6,8	6,4

Fonte: autor (2021)

Assim, obtemos o Cs correspondente a 7,5 mg/L.

5.4 Oxigênio Mínimo Permissível (ODmin):

A classificação do oxigênio mínimo permissível é resultado da resolução vigente no país, no caso a nº 20 do CONAMA, datada de 18/06/1986, gerando assim os valores de classificação da tabela 4.

Tabela 4: Concentrações mínimas permissíveis de oxigênio dissolvido.

CLASSE	OD MINIMO (mg/L)
Especial	Não são permitidos lançamentos, mesmos tratados
1	6,0
2	5,0
3	4,0
4	2,0

Fonte: BRASIL (1986)

Com isso temos o OD Mínimo correspondente a 5mg/L.

5.5 Concentração de oxigênio da mistura (Co):

A concentração de oxigênio é descrito pela soma dos produtos entre vazão e oxigênio dissolvido do rio e esgoto, sob a soma das vazões, assim temos:

$$C_o = \frac{Q_r \cdot OD_r + Q_e \cdot OD_e}{Q_r + Q_e} = \frac{0,168 \cdot 6,8 + 0,002 \cdot 0,0}{0,168 + 0,002} = 6,72 \text{ mg/L}$$

5.6 Deficit de oxigênio (Do)

O valor do deficit de oxigênio foi demonstrado a partir da diferença entre concentração de saturação de oxigênio e concentração de oxigênio na mistura.

$$Do = C_s - C_o = 7,5 - 6,72 = 0,78 \text{ mg/L}$$

5.7 Constante de transformação da DBO5 em DBO ultima (K_T):

Baseando-se na constante de desoxigenação também é possível definir a constante de transformação das DBO's.

$$K_t = \frac{1}{1 - e^{-5 K_1}} = \frac{1}{1 - e^{-5(0,566)}} = 1,0627$$

5.8 Concentração de DBO, após a mistura (DBO_{so}):

Esse valor é definido no ponto de mistura, enfatizando a DBO do rio e a DBO do esgoto.

$$DBO_{so} = \frac{Q_r \cdot DBO_r + Q_e \cdot DBO_e}{Q_r + Q_e} = \frac{0,168 \cdot 2,0 + 0,002 \cdot 10000}{0,168 + 0,002} = 119,62 \text{ mg/L}$$

5.9 Demanda ultima de oxigênio após a mistura (Lo):

Esse ponto representa a concentração do poluente, no corpo hídrico, após a mistura com o rejeito.

$$Lo = DBO_{so} \cdot K_T = 119,62 \cdot 1,0627 = 127,122 \text{ mg/L}$$

5.10 Tempo crítico (t_c):

Corresponde ao valor em dias a qual a o poluente deixou o corpo hídrico com a menor concentração de oxigênio.

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \ln \left\{ \frac{K_2}{K_1} \left(1 - \frac{D_o \cdot (K_1 - K_2)}{L_o \cdot K_1} \right) \right\} = \frac{1}{2,49 - 0,566} \ln \left\{ \frac{2,49}{0,566} \left(1 - \frac{0,78 \cdot (2,49 - 0,566)}{127,12 \cdot 0,566} \right) \right\}$$

$$t_c = 0,759 d$$

5.11 Distância crítica de oxigênio dissolvido (dc)

Corresponde ao valor em Km, a qual a o corpo hídrico apresenta o menor valor de concentração de oxigênio.

$$d_c = t_c \cdot v \cdot 86400 = 0,759 \cdot 0,35 \cdot 86400 = 22.952,16 \text{ m} \approx 23,0 \text{ km}$$

5.12 Deficit crítico (Dc):

O calculo correspondente ao maior deficit da concentração de oxigênio.

$$D_c = \frac{K_1}{K_2} L_o \cdot e^{K_1 \cdot t_c} = \frac{0,566}{2,49} 127,12 \cdot e^{0,566 \cdot 0,759} = 18,79 \text{ mg/L}$$

5.13 Concentração crítica de oxigênio dissolvido (Cc):

Esse ponto corresponde a menor concentração de oxigênio no corpo hídrico. É relevante entender que o menor valor na prática é 0, pois ,não é possível a concentração de oxigênio ser um valor negativo.

$$C_c = C_s - D_c = 7,5 - 18,79 = -11,29 \text{ mg/L} \therefore C_c = 0,0 \text{ mg/L (Menor valor na prática)}$$

5.14 Perfil do oxigênio dissolvido ao longo do tempo e da distância (Ct):

Com base em todo o estudo, e na modelagem de Streeter-Phelps é possível prever o comportamento da concentração de oxigênio com relação a distância e do tempo a partir da seguinte equação:

$$C_t = C_s - \left[\frac{K_1 \cdot L_o}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_o \cdot e^{-K_2 t} \right]$$

5.15 Comportamento Gráfico:

Para compreendermos, criamos uma matriz com base na distância descrita pelo usuário (160Km), aplicando isso a um tempo descrito pela razão da distância e velocidade calculamos então a concentração de oxigênio pela distancia. Esse processo pode ser interpretado pelo gráfico exposto pelo Matlab ao plotarmos o vetor da concentração de oxigênio (Figura 2).

Figura 2: Gráfico que representa a concentração de oxigênio dissolvido, com relação a distância.



Fonte: autor (2021)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A elaboração deste trabalho teve como principal objetivo a demonstração de um algoritmo de programação capaz de facilitar o estudo e demonstração de resultados a partir do modelo de Streeter-Phelps. Com isso, conseguimos implementar os dados primários e gerar secundários, otimizando o tempo gasto pelo usuário sobre os estudos da autodepuração de corpos hídricos. Também foi possível identificar através de comportamento gráfico o comportamento da concentração de oxigênio de um rio diante da distância.

O presente trabalho, também gerou dificuldades sobre quais os melhores métodos de programação, o que tornou a entender que o jeito mais simples é com a participação direta do usuário para evitar erros. Além disso, o processo de formação do gráfico também resultou em dificuldades sobre as análises e validação, tendo em vista que o modelo padrão adotado não possuía um sequenciamento lógico entre os pontos de distância.

Em síntese, os objetivos foram alcançados, mas também deixa pontos para melhorias futuras, como: a elaboração de um sistema mais dinâmico como interfaces gráficas; bem como, a produção de um código em outra linguagem de programação, a qual torne possível os estudos de autodepuração a partir de aplicativos ou páginas da web.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília : ANA, 2020. 118p.

BRAGA, Benedito et al. Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, p. 470-470, 1997.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 20, de 18 de junho 1986. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 julho 1986

ESTEVES, F. de A. et al. Fundamentos de limnologia. Ed. Interciência: Finep, Rio De Janeiro, 2ª Ed, 575p, 1998.

GIL, Antonio Carlos et al. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

PEIXOTO, Paulo. Os usos sociais dos rios. A água como patrimônio: experiências de requalificação das cidades com água e das paisagens fluviais, p. 57-70, 2016.

SANTOS, Alexandre Rosa dos *et al.* AD' ÁGUA 2.0 SISTEMA PARA SIMULAÇÃO DA AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA MANUAL DO USUÁRIO. Alegre: Caufes, 2010. 31 p.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 2014.

ANEXO 1

%TCC SAULO FILGUEIRA

%DISPERSÃO DE POLUENTES EM RIOS

```

disp('_____')
disp('          INSIRA OS DADOS DO ESGOTO          ')
disp('_____')
%DADOS ESGOTO
%vasão (m³/s)
Qe = input('Informe a vasão em m³/s: ');
%DBO(mg/L)
DBOe = input('Informe a DBO em mg/L: ');
%Oxigênio dissolvido (mg/L)
ODe = input('Informe o Oxigênio dissolvido em mg/L: ');
disp('_____')
disp('          INSIRA OS DADOS DO RIO          ')
disp('_____')
%DADOS RIO
%vasão (m³/s)
Qr = input('Informe a vasão do rio em m³/s: ');
%DBO(mg/L)
DBOr = input('Informe a DBO do rio em mg/L: ');
%Oxigênio dissolvido (mg/L)
ODr = input('Informe o Oxigênio dissolvido do rio em mg/L: ');
disp('_____')
disp('          INSIRA OS DADOS COMPLEMENTÁTES          ')
disp('_____')
%DADOS COMPLEMENTARES:
%Temperatura (°C)
T = input('Informe a temperatura do rio em °C: ');
%Altitude (m)
H = input('Informe a altitude em m: ');
%ponto de medição (m)
PM = input('Informe o ponto de medição em m: ');
%velocidade média (m/s)
VM = input('Informe a velocidade média em m/s: ');

%Tabela K1
disp('_____')
disp('ANALISE A TABELA E INFORME O COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO A 20° ')

```



```

elseif T==17 && H==0
    cs=9.7;
elseif T==18 && H==0
    cs=9.5;
elseif T==19 && H==0
    cs=9.4;
elseif T==20 && H==0
    cs=9.2;
elseif T==21 && H==0
    cs=9;
elseif T==22 && H==0
    cs=8.8;
elseif T==23 && H==0
    cs=8.7;
elseif T==24 && H==0
    cs=8.5;
elseif T==25 && H==0
    cs=8.4;
elseif T==26 && H==0
    cs=8.2;
elseif T==27 && H==0
    cs=8.1;
elseif T==28 && H==0
    cs=7.9;
elseif T==29 && H==0
    cs=7.8;
elseif T==30 && H==0
    cs=7.6;
elseif T==10 && H==500
    cs=10.7;
elseif T==11 && H==500
    cs=10.5;
elseif T==12 && H==500
    cs=10.2;
elseif T==13 && H==500
    cs=10;
elseif T==14 && H==500
    cs=9.8;
elseif T==15 && H==500
    cs=9.7;
elseif T==16 && H==500
    cs=9.5;
elseif T==17 && H==500
    cs=9.2;
elseif T==18 && H==500
    cs=9;
elseif T==19 && H==500
    cs=8.9;
elseif T==20 && H==500
    cs=8.7;

```

```
elseif T==21 && H==500
    cs=8.5;
elseif T==22 && H==500
    cs=8.3;
elseif T==23 && H==500
    cs=8.2;
elseif T==24 && H==500
    cs=8.1;
elseif T==25 && H==500
    cs=8;
elseif T==26 && H==500
    cs=7.8;
elseif T==27 && H==500
    cs=7.7;
elseif T==28 && H==500
    cs=7.5;
elseif T==29 && H==500
    cs=7.4;
elseif T==30 && H==500
    cs=7.2;
elseif T==10 && H==1000
    cs=10.1;
elseif T==11 && H==1000
    cs=9.9;
elseif T==12 && H==1000
    cs=9.7;
elseif T==13 && H==1000
    cs=9.5;
elseif T==14 && H==1000
    cs=9.3;
elseif T==15 && H==1000
    cs=9.1;
elseif T==16 && H==1000
    cs=8.9;
elseif T==17 && H==1000
    cs=8.7;
elseif T==18 && H==1000
    cs=8.5;
elseif T==19 && H==1000
    cs=8.4;
elseif T==20 && H==1000
    cs=8.2;
elseif T==21 && H==1000
    cs=8;
elseif T==22 && H==1000
    cs=7.9;
elseif T==23 && H==1000
    cs=7.8;
elseif T==24 && H==1000
    cs=7.6;
```

```
elseif T==25 && H==1000
    cs=7.5;
elseif T==26 && H==1000
    cs=7.3;
elseif T==27 && H==1000
    cs=7.2;
elseif T==28 && H==1000
    cs=7.1;
elseif T==29 && H==1000
    cs=7;
elseif T==30 && H==1000
    cs=6.8;
elseif T==10 && H==1500
    cs=9.5;
elseif T==11 && H==1500
    cs=9.3;
elseif T==12 && H==1500
    cs=9.1;
elseif T==13 && H==1500
    cs=8.9;
elseif T==14 && H==1500
    cs=8.7;
elseif T==15 && H==1500
    cs=8.6;
elseif T==16 && H==1500
    cs=8.4;
elseif T==17 && H==1500
    cs=8.2;
elseif T==18 && H==1500
    cs=8;
elseif T==19 && H==1500
    cs=7.9;
elseif T==20 && H==1500
    cs=7.7;
elseif T==21 && H==1500
    cs=7.6;
elseif T==22 && H==1500
    cs=7.4;
elseif T==23 && H==1500
    cs=7.3;
elseif T==24 && H==1500
    cs=7.2;
elseif T==25 && H==1500
    cs=7.1;
elseif T==26 && H==1500
    cs=6.9;
elseif T==27 && H==1500
    cs=6.8;
elseif T==28 && H==1500
    cs=6.6;
```

```

elseif T==29 && H==1500
    cs=6.6;
elseif T==30 && H==1500
    cs=6.4;
end

disp('

')

disp('_____')
disp('Concentrações mínimas permissíveis de oxigênio dissolvido')
disp('Resolução CONAMA N 20, de 18/06/86')
disp('_____')
disp('')
disp('_____')
disp('CLASSE | OD MÍNIMO (mg/L)')
disp('_____')
disp('ESPECIAL (0)| NÃO PERMITIDO LANÇAMENTOS (MESMO TRATADOS)')
disp('1 | 6,0')
disp('2 | 5.0')
disp('3 | 4.0')
disp('4 | 2.0')
disp('_____')
disp('')

%OD MINIMO PERMITIDO
OD_MP = input('Com base na tabela informe o Oxigênio Dissolvido minimo permitido: ');
n=input('Informe até que distância deseja analisar após o ponto de mistura: ');
%CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO NA MISTURA
C0=(Qr*ODr+Qe*ODE)/(Qr+Qe);
%Deficit de Oxigênio
D0 = (cs-C0);
%COSNANTE DE TRANFORMAÇÃO
KT=1/(1-exp(-5*K1_T));
%CONCENTRAÇÃO DE DBO APÓS A MISTURA
DBOeo=(Qr*DBOr+Qe*DBOe)/(Qr+Qe);
%DEMANDA ULTIMA DE OXIGÊNIO APÓS A MISTURA
Lo=DBOeo*KT;
%TEMPO CRÍTICO
tc=(1/(K2_T-K1_T))*log((K2_T/K1_T)*(1-((D0*(K2_T-K1_T))/(Lo*K1_T))));
%DISTÂNCIA CRÍTICA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO
dc=(tc*VM*(24*60*60))/1000;
%DEFICIT CRÍTICO
Dc=(K1_T/K2_T)*Lo*exp(-K1_T*tc);
%CONCENTRAÇÃO CRÍTICA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO
CcT=cs-Dc;
if (CcT<=0)
    CcP=0;
end

```

%Distância de Analise

```
Dis=1:1:n;
[o, tam]=size(Dis);
for a= 1:tam
    x=Dis(a);
    tempo=(x/(VM*86.40));
    Ct=cs-(((K1_T*Lo)/(K2_T-K1_T))*(exp(-K1_T*tempo)-exp(-K2_T*tempo)))+(D0*exp(-
    K2_T*tempo));
    %%Sinais de saída
    res(a)=tempo;
    cts(a)=Ct;
end
```

```
disp('_____RESUMO DAS VARIÁVEIS_____')
```

```
fprintf('COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO (K1) %f\n\n', K1_T);
```

```
fprintf('COEFICIENTE DE REAÇÃO (K2) %f\n\n', K2_T);
```

```
fprintf('CONC. DE SATU. DE OXIGÊNIO (Cs) %f\n\n', cs);
```

```
fprintf('OXIGÊNIO MIN. PERMISSÍVEL %f\n\n', OD_MP);
```

```
fprintf('CONC. DE OXIGÊNIO NA MISTURA (Co) %f\n\n', C0);
```

```
fprintf('DEFICIT DE OXIGÊNIO (Do) %f\n\n', D0);
```

```
fprintf('CONST. DE TRANSFORMAÇÃO DA DBO(Kt) %f\n\n', KT);
```

```
fprintf('CONC. DE DBO APÓS A MISTURA (DBO5o) %f\n\n', DBOeo);
```

```
fprintf('DEM. ULTIMA DE OXI APÓS A MISTURA (Lo) %f\n\n', Lo);
```

```
fprintf('TEMPO CRÍTICO (tc) %f\n\n', tc);
```

```
fprintf('DISTÂNCIA CRÍTICA (dc) %f\n\n', dc);
```

```
fprintf('DEFICIT CRÍTICO (Dc) %f\n\n', Dc);
```

```
fprintf('CONC. CRÍTICA DE O.D. TEÓRICO (Cc) %f\n\n', CcT);
```

```
fprintf('CONC. CRÍTICA DE O.D. PRÁTICA (Cc) %f\n\n', CcP);
```